

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004 年 7 月 22 日 (22.07.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/061476 A1

- (51) 国際特許分類: G01S 17/32, 17/58, G01P 5/00
 (21) 国際出願番号: PCT/JP2002/013863
 (22) 国際出願日: 2002 年 12 月 27 日 (27.12.2002)
 (25) 国際出願の言語: 日本語
 (26) 国際公開の言語: 日本語
 (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP).
 (72) 発明者; および
 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 亀山 俊平 (KAMEYAMA, Shumpei) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 平野 嘉仁 (HIRANO, Yoshihito) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目

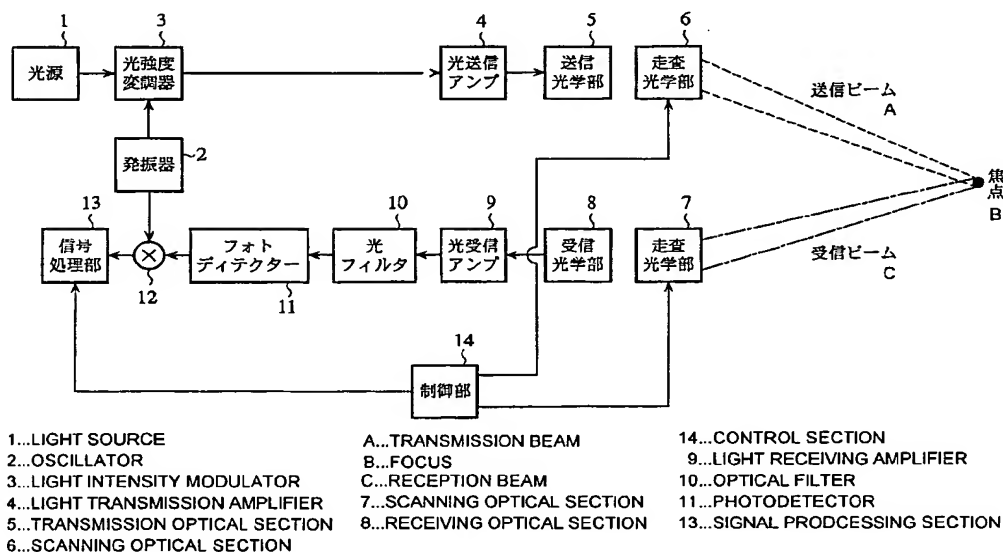
2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 浅香 公雄 (ASAKA, Kimio) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 安藤 俊行 (ANDO, Toshiyuki) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 岡村 敦 (OKAMURA, Atsushi) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 若山 俊夫 (WAKAYAMA, Toshio) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 酒巻 洋 (SAKAMAKI, Hiroshi) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 田澤 博昭, 外 (TAZAWA, Hiroaki et al.); 〒100-0013 東京都千代田区霞が関三丁目7番1号 大東ビル7階 Tokyo (JP).
 (81) 指定国 (国内): JP, US.

[続葉有]

(54) Title: LASER RADAR APPARATUS

(54) 発明の名称: レーザーレーダ装置



(57) **Abstract:** A laser radar apparatus is provided with a mixer (12) for converting the frequency of an electrical signal outputted from a photodetector (11) by means of a modulation signal oscillated by an oscillator (2) into a baseband frequency. The electrical signal frequency-converted by the mixer (12) is coherently integrated, so that the properties of scattering bodies existing in the air are determined from the integration result. Thus, the properties of scattering bodies are determined even if the S/N ratio of the optical signal received by a receiving optical section (8).

(57) **要約:** 発振器 2 により発振された変調信号を用いてフォトディテクター 11 から出力された電気信号の周波数をベースバンド周波数に変換するミキサ 12 を設け、ミキサ 12 による周波数変換後の電気信号をコヒーレント積分し、その積分結果から大気中に存在する散乱体の性状を検出する。これにより、受信光学部 8 により受信された光信号の S/N 比が低い場合でも、散乱体の性状を検出することができる。

WO 2004/061476 A1



(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

明 細 書

レーザーレーダ装置

技術分野

この発明は、レーザー光を送受信して散乱体の性状を検出するレーザーレーダ装置に関するものである。

背景技術

従来のレーザーレーダ装置は、レーザー光を大気中に送信することにより、散乱体の移動速度によるドップラー周波数シフトを受けたレーザー光を受信し、そのレーザー光とローカル光のヘテロダイン検波を実施してドップラー信号を検出する。

そして、そのドップラー信号の周波数から散乱体の移動速度を求めている。

上記のように従来のレーザーレーダ装置は、光のキャリア周波数に関するドップラーシフト周波数を検出する方式であるが、この方式では、ドップラー信号のコヒーレンシが弱いことが知られている。即ち、ドップラー信号のコヒーレント時間が短いことが知られている。例えば、受信光が大気中のエアロゾルからの散乱光である場合、ドップラー信号のコヒーレント時間はマイクロ秒 (μs) のオーダーであることが知られている。

このように、ドップラー信号のコヒーレント時間が短い場合には、そのドップラー信号をインコヒーレントに積分して、 S/N 比の改善を試みるが、そのドップラー信号をインコヒーレントに積分しても、 S/N 比を効果的に改善することが困難であることが知られている。

なお、コヒーレント時間の長いドップラー信号を得るには、光信号よりも低い周波数（例えば、マイクロ波帯の周波数からなる変調周波数）によって光信号を強度変調し、この変調周波数に関するドップラー周波数を検出すればよいことが知られている。光信号をマイクロ波帯の変調周波数によって強度変調するレーザーレーダ装置は以下の特許文献 1 ～ 3 に開示されている。

・ 特許文献 1

特開昭 5 9 - 1 5 0 2 9 9 号公報

・ 特許文献 2

特公昭 5 1 - 2 9 0 3 2 号公報

・ 特許文献 3

特開平 2 - 2 5 7 8 6 号公報

従来のレーザーレーダ装置は以上のように構成されているので、コヒーレント時間の長いドップラー信号を得ることができる。しかし、受信光の S/N 比が低い場合、その S/N 比を改善する手段を備えていないため、散乱体の性状を検出することができなくなることがある課題があった。

例えば、散乱体が大気中のエアロゾルであり、そのエアロゾルにより散乱された光信号を受信してエアロゾルの移動速度（風速）を検出する場合、散乱体が自動車などのハードターゲットである場合と比較して、受信光の S/N 比が大きく劣化することが考えられる。

この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、受信光の S/N 比が低い場合でも、散乱体の性状を検出することができるレーザーレーダ装置を得ることを目的とする。

発明の開示

この発明に係るレーザーレーダ装置は、発振手段により発振された変調信号を用いて光電変換手段から出力された電気信号の周波数をベースバンド周波数に変換する周波数変換手段を設け、その周波数変換手段による周波数変換後の電気信号をコヒーレント積分し、その積分結果から大気中に存在する散乱体の性状を検出するようにしたものである。

このことによって、受信手段により受信された光信号のS/N比が低い場合でも、散乱体の性状を検出することができる効果がある。

図面の簡単な説明

第1図はこの発明の実施の形態1によるレーザーレーダ装置を示す構成図である。

第2図は信号処理部13の内部を示す構成図である。

第3図は光強度変調器3による強度変調前後の信号波形を示す説明図である。

第4図は送受信ビームの視野を模式的に示す説明図である。

第5図はこの発明の実施の形態1によるレーザーレーダ装置の光電変換部30を示す構成図である。

第6図はこの発明の実施の形態6によるレーザーレーダ装置を示す構成図である。

第7図はこの発明の実施の形態7によるレーザーレーダ装置を示す構成図である。

第8図は信号処理部13の内部を示す構成図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、この発明をより詳細に説明するために、この発明を実施するた

めの最良の形態について、添付の図面に従って説明する。

実施の形態 1 .

第 1 図はこの発明の実施の形態 1 によるレーザーレーダ装置を示す構成図である。図において、光源 1 は連続波からなる光信号を送信し、発振器 2 は連続波からなる変調信号を発振する。なお、発振器 2 は発振手段を構成している。

光強度変調器 3 は発振器 2 により発振された変調信号を用いて、光源 1 から送信された光信号を強度変調する。なお、光強度変調器 3 は変調手段を構成している。

光送信アンプ 4 は光強度変調器 3 により強度変調された光信号を増幅し、送信光学部 5 は走査光学部 6 を介して光送信アンプ 4 による増幅後の光信号を大気中に送信する。なお、光送信アンプ 4、送信光学部 5 及び走査光学部 6 から送信手段が構成されている。

受信光学部 8 は送信光学部 5 が光信号を大気中に送信すると、散乱体によってドップラー周波数シフトを受けた光信号を走査光学部 7 を介して受信し、光受信アンプ 9 は受信光学部 8 により受信された光信号を増幅し、光フィルタ 10 は光受信アンプ 9 による増幅後の光信号に含まれている不要周波数成分を除去する。なお、走査光学部 7、受信光学部 8、光受信アンプ 9 及び光フィルタ 10 から受信手段が構成されている。

因みに、送信光学部 5 と受信光学部 8 は、走査光学部 6、7 の作用により大気中の同じ位置に焦点を有する構成となっている。

フォトディテクター 11 は光フィルタ 10 から出力された光信号に含まれている強度変調成分を検波し、その強度変調成分を示す電気信号を出力する。なお、フォトディテクター 11 は光電変換手段を構成している。

ミキサ 12 はフォトディテクター 11 から出力された電気信号と発振

器 2 により発振された変調信号をミキシングして、その電気信号の周波数をベースバンド周波数に変換する。なお、ミキサ 1 2 は光電変換手段を構成している。

信号処理部 1 3 はミキサ 1 2 による周波数変換後の電気信号をコヒーレント積分し、その積分結果から大気中に存在する散乱体の性状を検出する。なお、信号処理部 1 3 は検出手段を構成している。

制御部 1 4 は走査光学部 6 , 7 及び信号処理部 1 3 の処理を制御している。

ここで、光源 1 と光強度変調器 3 間、光強度変調器 3 と光送信アンプ 4 間、光送信アンプ 4 と送信光学部 5 間は光ファイバケーブルにより接続されている。また、受信光学部 8 と光受信アンプ 9 間、光受信アンプ 9 と光フィルタ 1 0 間、光フィルタ 1 0 とフォトディテクター 1 1 間は光ファイバケーブルにより接続されている。それ以外の部品間（例えば、フォトディテクター 1 1 とミキサ 1 2 間）は電線ケーブルにより接続されている。部品間の接続に光ファイバケーブルを使用することにより、光信号をレーザーレーダ装置内において空間的に伝搬させる場合と比較して、各部品の配置自由度が向上する効果が得られる。

第 2 図は信号処理部 1 3 の内部を示す構成図であり、図において、A/D 変換器 2 1 はミキサ 1 2 による周波数変換後の電気信号をアナログ信号からデジタル信号に変換する。コヒーレント積分器 2 2 は A/D 変換器 2 1 から出力されたデジタル信号をコヒーレント積分すると同時にスペクトルを求める。風速検出器 2 3 はコヒーレント積分器 2 2 により求められたスペクトルから送信光学部 5 及び受信光学部 8 の焦点近傍における送信方向風速を検出する。

なお、A/D 変換器 2 1 とコヒーレント積分器 2 2 と風速検出器 2 3 間は電線ケーブルにより接続されている。

次に動作について説明する。

ここでは、説明の便宜上、散乱体を大気中のエアロゾルとし、風速検出（エアロゾルの移動速度検出）を目的として風速のドップラー周波数を求めるものとする。ただし、散乱体の移動速度を求める他の用途、例えば、自動車の走行速度を求める用途にも適用できる。

まず、光源 1 が連続波からなる光信号を送信し、発振器 2 が連続波からなる変調信号を発振する。

ただし、発振器 2 が発振する変調信号の周波数（キャリア周波数）は、電磁波ドップラーレーダで通常使用されているマイクロ波帯の周波数（例えば、2 GHz）とする。この変調信号のキャリア周波数は、光源 1 から送信される光信号の周波数（例えば、200 テラ Hz）と比較して遥かに低い値である。

光強度変調器 3 は、光源 1 から光信号を受けると、発振器 2 により発振された変調信号を用いて、その光信号を強度変調する。

第 3 図は光強度変調器 3 による強度変調前後の信号波形を示し、第 3 図 A は強度変調前の信号波形、第 3 図 B は強度変調後の信号波形である。

光送信アンプ 4 は、光強度変調器 3 から強度変調後の光信号を受けると、その光信号を増幅し、送信光学部 5 は、走査光学部 6 を介して光送信アンプ 4 による増幅後の光信号を大気中に送信する。

大気中に送信された光信号は、エアロゾルによって散乱された後、受信光学部 8 により走査光学部 7 を介して受信される。

受信光学部 8 により受信された光信号は、散乱体の移動速度、即ち、風速の影響によりドップラー周波数シフトを受けている。この実施の形態 1 では、光源 1 から送信される光信号がマイクロ波帯の周波数の変調信号によって強度変調されているので、ドップラー周波数シフトには 2

種類が存在する。一つは光信号のキャリア周波数に関するドップラー周波数シフト、もう一つは変調周波数に関するドップラー周波数シフトである。

ここで、光信号のキャリア周波数に関するドップラー周波数シフト $f_{s.c}$ は、光信号のキャリア周波数 f_o と、光の伝搬速度 c と、散乱体の移動速度 v とから下記のように表される。

$$f_{s.c} = (2 v \times f_o) / c \quad (1)$$

一方、変調周波数に関するドップラー周波数シフト $f_{s.m}$ は、変調周波数（変調信号のキャリア周波数） f_m と、光の伝搬速度 c と、散乱体の移動速度 v とから下記のように表される。

$$f_{s.m} = (2 v \times f_m) / c \quad (2)$$

なお、送信光学部 5 と受信光学部 8 の焦点は同じ位置であるので、受信光学部 8 により受信された光信号においては、焦点近傍から散乱された成分が支配的である。

光受信アンプ 9 は、受信光学部 8 が光信号を受信すると、その光信号を増幅し、光フィルタ 10 は、光受信アンプ 9 による増幅後の光信号に含まれている不要周波数成分を除去する。

フォトディテクター 11 は、光フィルタ 10 が増幅後の光信号から不要周波数成分を除去すると、その光信号に含まれている強度変調成分を直接検波することにより、その強度変調成分を示す電気信号を出力する。

即ち、フォトディテクター 11 が直接検波を行うと、光信号におけるキャリア周波数が除去されるので、フォトディテクター 11 から出力される電気信号の周波数には、光信号の強度変調成分のみが含まれる。したがって、フォトディテクター 11 から出力される電気信号の周波数は、光強度変調器 3 により与えた変調周波数から、この変調周波数に関する

るドップラー周波数だけシフトした周波数となる。

ミキサ 12 は、フォトディテクター 11 から電気信号を受けると、その電気信号と発振器 2 により発振された変調信号をミキシングすることにより、その電気信号の周波数をベースバンド周波数に変換する。

この際、ベースバンド周波数は、発振器 2 から発振された変調信号の周波数（光強度変調器 3 における変調周波数）と、フォトディテクター 11 から出力された電気信号の周波数（光強度変調器 3 における変調周波数から、式（2）で示したドップラー周波数だけシフトした周波数）との差の周波数となる。

即ち、ミキサ 12 から出力される電気信号の周波数は、送信光学部 5 及び受信光学部 8 の焦点近傍における送信方向風速の式（2）に対応するドップラー周波数となる。この実施の形態 1 では、説明の便宜上、「ドップラー信号」という文言は、周波数が散乱体の移動速度に関するドップラー周波数となる信号を示すものとし、ミキサ 12 から出力される電気信号を以下ではドップラー信号として記述する。

なお、この実施の形態 1 では、1 個のミキサ 12 を用いて電気信号の周波数をベースバンド周波数に変換するものについて示したが、一段のミキシングによる変換ではなく、発振器 2 から発振された変調信号の周波数よりも低いキャリア周波数からなる変調信号を用いたミキシングを多段で実施し、多段のミキシングによる変換としてもよい。

例えば、フォトディテクター 11 から出力された電気信号の周波数に対して、周波数 $1/3 f_m$ の変調信号でミキシングを行って中間周波数に変換し、このミキシングにより得られた出力に対して、周波数 $2/3 f_m$ の変調信号で更にミキシングを行ってベースバンド周波数に変換すればよい。第 1 図には示していないが、周波数 $1/3 f_m$ の変調信号を発振する発振器と、周波数 $2/3 f_m$ の変調信号を発振する発振器と、

ミキサ 12 以外のもう一つのミキサとを別途有する構成とすればよい。このように、ミキシングにおいて周波数の低い変調信号を用いることによって、変調信号のコヒーレンシ、即ち、変調信号のコヒーレント時間を長くすることが容易となり、ドップラー信号をコヒーレントにする効果が生じる。

ドップラー信号のコヒーレント時間は、一般的に送信信号の周波数に逆比例する。したがって、光強度変調器 3 での変調周波数に関するドップラー信号のコヒーレント時間は、光信号のキャリア周波数に関するドップラー信号のコヒーレント時間と比較してはるかに長い時間となる。

例えば、周波数 200 テラヘルツ（波長 1.5 μm ）の光信号に対して、2 ギガヘルツの変調周波数で強度変調を与えた場合、変調周波数に関するドップラー信号のコヒーレント時間は、光信号のキャリア周波数に関するドップラー信号のコヒーレント時間と比較して 10 万倍程度の長い時間となる。なお、変調信号のキャリア周波数 f_m は、必要なコヒーレント時間 τ_r と、定数 k とから次のように決定する。

$$f_m = k / \tau_r \quad (3)$$

定数 k の具体的な値としては、周波数 200 テラ H z の場合にはドップラー信号のコヒーレント時間が 1 μs 程度であることを考慮し、 $k = 2 \times 10^6$ とすればよい。

信号処理部 13 は、上記のようにしてミキサ 12 からドップラー信号を受けると、そのドップラー信号をコヒーレント積分し、その積分結果から大気中に存在する散乱体の性状を検出する。

即ち、信号処理部 13 の A/D 変換器 21 は、ミキサ 12 から出力されたドップラー信号を A/D 変換してデジタル信号をコヒーレント積分器 22 に出力する。

この際、サンプリング間隔は、所望の距離分解能に対応する値程度と

し、例えば、送信光学部 5 及び受信光学部 8 の焦点長さ程度とする。

コヒーレント積分器 22 は、A/D 変換器 21 からデジタル信号を受けると、FFT (Fast Fourier Transform) 演算等を実施することにより、そのデジタル信号をコヒーレント積分すると同時にドップラー信号のスペクトルを求める。

この演算により、S/N 比はサンプル数に比例して改善される。FFT の演算がサンプルした信号のコヒーレント積分であることは、文献 (S. Goldman 著, Microwave System News & Communication Technology, vol. 18-3, 44-52, (1988)) に示されている。DFT (Discrete Fourier Transform), PP (Pulse Pair), PPP (Poly Pulse Pair) など、FFT 以外の方式の演算を実施してデジタル信号のコヒーレント積分を実施してもよい。

なお、コヒーレント積分をデジタル信号全体に対して一度に行うのではなく、所望の速度分解能に対応するドップラー周波数の逆数により決まる時間幅からなる時間ゲートによりデジタル信号を分割し、各時間ゲートにおけるコヒーレント積分結果を各時間ゲート間にわたって更にコヒーレント積分すれば、別の効果が生じる。例えば、デジタル信号のサンプル数が A 個であり、このデジタル信号を時間ゲートにより B 個ずつに分割する場合、デジタル信号全体を FFT すると、

演算回数が $A \log_2 A$ となるのに対し、

時間ゲート毎に FFT する場合の演算量は、

$$(A/B) \times (B \log_2 B) = A \log_2 B$$

となる。A > B であることから、時間ゲート毎に FFT 演算を行って得られた結果をコヒーレント積分する方が、演算回数が少なく、短時間に

積分結果が得られることが分かる。この際、時間ゲートの幅を所望の速度分解能に対応するドップラー周波数の逆数としているので、FFT結果における周波数分解能は所望の速度分解能に対応するドップラー周波数となる。したがって、所望の速度分解能を確保することができる。

信号処理部13の風速検出器23は、コヒーレント積分器22により求められたスペクトルから送信光学部5及び受信光学部8の焦点近傍における送信方向風速を検出する。

以上で明らかなように、この実施の形態1によれば、発振器2により発振された変調信号を用いてフォトディテクター11から出力された電気信号の周波数をベースバンド周波数に変換するミキサ12を設け、ミキサ12による周波数変換後の電気信号をコヒーレント積分し、その積分結果から大気中に存在する散乱体の性状を検出するように構成したので、受信光学部8により受信された光信号のS/N比が低い場合でも、散乱体の性状を検出することができる効果を奏する。

また、この実施の形態1によれば、所望の速度分解能の逆数により決まる時間幅からなる時間ゲートによってデジタル信号を分割し、各時間ゲートにおいて当該デジタル信号をコヒーレント積分するとともに、その積分結果を各時間ゲート間に亘ってコヒーレント積分するように構成したので、演算回数が減少する結果、短時間に積分結果を得ることができる効果を奏する。また、所望の速度分解能を確保することができる効果を奏する。

また、この実施の形態1によれば、発振器2が変調信号を発振する際、その変調信号のキャリア周波数 f_m とコヒーレント時間 τ_r の乗算結果が定数 k と一致するように、そのキャリア周波数 f_m を決定するので、測定時間内においてコヒーレント積分を実施することができる効果を奏する。

この実施の形態 1 によれば、フォトディテクター 11 から出力された電気信号と発振器 2 により発振された変調信号をミキシングするミキサ 12 を用いて、その電気信号の周波数をベースバンド周波数に変換するように構成したので、構成の複雑化を招くことなく、電気信号のベースバンド周波数を得ることができる効果を奏する。

また、この実施の形態 1 によれば、複数の変調信号をそれぞれ電気信号にミキシングする多段構成にしたので、変調信号のコヒーレント時間を容易に長くすることができるようになり、その結果、ドップラー信号をコヒーレントにすることができる効果を奏する。

この実施の形態 1 によれば、強度変調された光信号を増幅してから大気中に送信する一方、大気中から受信した光信号を増幅して、その光信号に含まれている不要周波数成分を除去するように構成したので、散乱体の性状の検出精度を高めることができる効果を奏する。

さらに、この実施の形態 1 によれば、受信光学部 8 により受信された光信号に含まれている強度変調成分を直接検波するフォトディテクター 11 を用いているので、光ファイバ内を伝搬する光信号が受ける偏波変動により S/N 比が影響を受けることがなく、安定した S/N 比での測定が可能となる効果を奏する。また、光ファイバケーブルにシングルモードファイバを使う必要がなく、マルチモードファイバを使用することが可能となる。これにより、送信光学部 5 及び受信光学部 8 の視野を広くすることが可能となり、送信光学部 5 と受信光学部 8 の焦点位置を大気中において容易に一致させることができる効果を奏する。

なお、この実施の形態 1 では、送信信号のキャリア周波数はあくまでも光信号のキャリア周波数であるので、例えば、空間分解能がよく、局所的な測定が可能となるレーザーレーダ装置の電磁波ドップラーレーダ装置に対するメリットを失うことがない。

また、この実施の形態 1 では、光送信アンプ 4、光受信アンプ 9 及び光フィルタ 10 を備えているが、これらの部品を有していなくても、十分な S/N 比が得られれば、これらの部品を有する必要性は特にない。ただし、十分な S/N 比での計測が困難な場合、もしくは、受信光に対する受信感度が不足する場合においては、光送信アンプ 4、光受信アンプ 9 及び光フィルタ 10 のうちの少なくとも一つを備えるようにすることが S/N 比を改善する上で好ましい。

さらに、この実施の形態 1 では、マイクロ波帯の周波数に関するドップラー周波数を検出するものであり、マイクロ波帯の周波数を用いる電磁波レーダに関する全ての方式に適用することができる。したがって、発振器 2 から発振される変調信号の周波数は 1 つであったが、変調信号の周波数を複数として、これらの変調周波数を掃引する電磁波レーダ方式の一つとして知られている FMCW 方式を用い、散乱体が自動車などのハードターゲットである場合の散乱体の位置測定に適用することも可能である。

この場合、第 1 図とは異なり、送信光学部 5 の送信ビームと受信光学部 8 の受信ビームとは近似的に同一となるように、走査光学部 6, 7 を設定する。これにより、散乱体が第 1 図における焦点位置に存在しなくとも、送信ビーム及び受信ビーム中に存在すれば、散乱体により散乱された光信号を受信することができる。

実施の形態 2.

上記実施の形態 1 では、ミキサ 12 を用いて、電気信号の周波数をベースバンド周波数に変換するものについて示したが、そのミキサ 12 の代わりに I/Q 検波回路を用いて構成し、その I/Q 検波回路が I/Q ビデオ信号をドップラー信号として出力するようにしてもよい。

これにより、信号処理部 13 では、風速の絶対値のみでなく、風速の + もしくは - の符号、即ち、追い風か向い風かの識別も可能となる効果を奏する。

実施の形態 3 .

上記実施の形態 1 では、レーザーレーダ装置が送信光学部 5 と受信光学部 8 を搭載しているものについて示したが、送信光学部 5 と受信光学部 8 の機能を備えている 1 個の光学部材を搭載するようにしてもよい。

この 1 個の光学部材に光サーキュレータの機能を搭載すれば、送信における焦点位置と受信における焦点位置とが自然と一致するため、容易にシステムを構築することができるようになる効果を奏する。

実施の形態 4 .

上記実施の形態 1 では、特に言及していないが、光源 1 から送信光学部 5 までの光ファイバケーブルをシングルモードファイバとし、受信光学部 8 からフォトディテクター 11 までの光ファイバケーブルをマルチモードファイバとするようにしてもよい。

第 4 図 A は送受信に関する光ファイバケーブルにシングルモードファイバを用いた場合の送受信ビームの視野を模式的に示し、第 4 図 B は送信に関する光ファイバケーブルにシングルモードファイバを用い、受信に関する光ファイバケーブルにマルチモードファイバを用いた場合の送受信ビームの視野を模式的に示している。

第 4 図 A に示すように、送受信の双方においてシングルモードファイバを使用すると、送受信ビームの視野を狭くできるので、高い空間分解能での測定が可能となる反面、送受信ビームの焦点位置を一致させるのが難しい。また、走査光学部 6 , 7 により送受信ビームの走査速度を大

きくすると、送信光が散乱されて受信光が受信される前に受信ビームの視野が別の位置に移動するので、散乱体により散乱された光を受信する際の受信効率が劣化する。

これに対して、第4図Bに示すように、送信に関してはシングルモードファイバを使用し、受信に関してはマルチモードファイバを使用することにより、受信に関するビーム視野を送信に関するビーム視野よりも広くとれば、送受信ビームの焦点位置を容易に一致させることが可能となるのと同時に、高い空間分解能での測定が可能となる効果を奏する。さらに、ビームの走査速度を大きくしても受信ビームの視野が広いいため、送受信の双方においてシングルモードファイバを使用する場合と比較して高い受信効率が得られる。

実施の形態5.

第5図はこの発明の実施の形態1によるレーザーレーダ装置の光電変換部30を示す構成図である。図において、光電変換部30は第1図のフォトディテクター11の代わりに搭載され、光電変換部30は光フィルタ10から出力された光信号に含まれている強度変調成分を電気信号に変換する光電変換手段を構成している。

光源31はローカル光を出力し、ヘテロダイン検波器32は光フィルタ10から出力された光信号と光源31から出力されたローカル光をヘテロダイン検波する。包絡線検波器33はヘテロダイン検波器32の検波信号の包絡線を検波する。

この実施の形態5では、ヘテロダイン検波器32が光フィルタ10から出力された光信号と光源31から出力されたローカル光をヘテロダイン検波し、包絡線検波器33がヘテロダイン検波器32の検波信号の包絡線を検波する。これにより、その包絡線の検波結果がその光信号に含

まれている強度変調成分を示す電気信号としてミキサ 12 に出力されるが、ヘテロダイン検波の効果により高い S/N 比を得ることができる効果を奏する。ただし、ヘテロダイン検波を用いているので、光ファイバケーブルとしてシングルモードファイバを用いる必要がある。

なお、第 5 図では、光源 1 とは別の光源 31 を設けたが、別の光源 31 を設けずに、光源 1 の光信号を図示せぬ光分配器により分配し、その一部をローカル光としてもよい。

実施の形態 6 .

第 6 図はこの発明の実施の形態 6 によるレーザーレーダ装置を示す構成図である。図において、第 1 図と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。

パルス変調器 41 は発振器 2 により発振された変調信号を所望の距離分解能に相当する時間幅を有するパルスに変調し、そのパルス信号を光強度変調器 3 に出力する。なお、発振器 2 とパルス変調器 41 間、パルス変調器 41 と光強度変調器 3 間、パルス変調器 41 と制御部 14 間は電線ケーブルにより接続され、パルス変調器 41 は発振手段を構成している。

次に動作について説明する。

ただし、上記実施の形態 1 と同一部分は説明を省略する。

パルス変調器 41 は、発振器 2 から連続波からなる変調信号を受けると、その変調信号を所望の距離分解能に相当する時間幅を有するパルスに変調し、そのパルス信号を光強度変調器 3 に出力する。

ここで、所望の距離分解能とパルスの時間幅との関係は、所望の距離分解能 d と、パルスの時間幅 w とから次のように表される。

$$d = c \times w / 2 \quad (4)$$

例えば、所望の距離分解能が 150 m であれば、パルスの時間幅は 1 μ s になる。

なお、第 6 図において、送信光学部 5 の送信ビームと受信光学部 8 の受信ビームとが近似的に同一となるように、走査光学部 6, 7 が設定されている。また、その送信ビームと受信ビームとは近似的に焦点を持たないアフォーカルな状態に設定されている。

この実施の形態 6 によれば、光強度変調器 3 がパルス変調器 4 1 から出力されたパルス信号を用いて、光源 1 から送信された光信号を強度変調するので、送信光学部 5 が光パルスを送信することになる。そのため、受信光学部 8 は大気中の複数のレンジにより散乱された光信号を受信するので、ドップラー信号における各レンジに対応する時間帯のドップラー周波数を検出することになる。よって、各レンジの送信方向風速を検出することが可能となり、大気中の風速分布を知ることが可能となる効果を奏する。

実施の形態 7.

第 7 図はこの発明の実施の形態 7 によるレーザーレーダ装置を示す構成図である。図において、第 1 図と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。

符号系列発生器 4 2 は + もしくは - の符号からなる符号系列を発生し、位相変調器 4 3 は符号系列発生器 4 2 から発生された符号系列を用いて、発振器 2 により発振された変調信号の位相を変調する。なお、符号系列発生器 4 2 及び位相変調器 4 3 は発振手段を構成している。

なお、符号系列発生器 4 2 と位相変調器 4 3 間、符号系列発生器 4 2 と信号処理部 1 3 間、位相変調器 4 3 と発振器 2 間、位相変調器 4 3 と光強度変調器 3 間は電線ケーブルにより接続されている。

第 8 図は信号処理部 13 の内部を示す構成図である。図において、第 2 図と同一符号は同一または相当部分を示すので説明を省略する。

復調器 24 は A/D 変換器 21 から出力されたデジタル信号に対して、符号系列発生器 42 から発生された符号系列に基づいて復調処理を実施する。

次に動作について説明する。

ただし、上記実施の形態 1 と同一部分は説明を省略する。

符号系列発生器 42 は、+もしくは-の符号からなる符号系列を発生する。符号系列としては、符号系列の自己相関関数において遅延時間 0 に鋭いピークを持ち、かつ、周期的に繰返す符号系列を用いればよい。その一例としては M 系列信号が存在する。以下、M 系列信号を用いるものとして説明する。

位相変調器 43 は、符号系列発生器 42 が M 系列信号を発生すると、その M 系列信号を用いて、発振器 2 により発振された変調信号の位相を変調する。

即ち、M 系列信号に基づいて位相 0 もしくは π の位相変調を施し、この信号を光強度変調器 3 に対して変調信号として送信する。位相変調の 1 ビットの時間幅は、所望の距離分解能に相当する時間幅とする。

これにより、送信光学部 5 の送信ビームは M 系列によって疑似ランダム変調された Duty 比 100% の信号となる。

なお、第 7 図において、送信光学部 5 の送信ビームと受信光学部 8 の受信ビームとが近似的に同一となるように、走査光学部 6, 7 が設定されて、その送信ビームと受信ビームとは近似的に焦点を持たないアフォーカルな状態に設定されているものとする。

したがって、受信光学部 8 の受信ビームには、大気中の複数のレンジにより散乱された光が重畳して含まれている。

信号処理部 13 は、上記実施の形態 1 と同様にして、ミキサ 12 からドップラー信号を受けると、そのドップラー信号をコヒーレント積分し、その積分結果から大気中に存在する散乱体の性状を検出する。

即ち、信号処理部 13 の A/D 変換器 21 は、ミキサ 12 から出力されたドップラー信号を A/D 変換してデジタル信号を復調器 24 に出力する。

信号処理部 13 の復調器 24 は、A/D 変換器 21 から出力されたデジタル信号に対して、符号系列発生器 42 から発生された符号系列に基づいて復調処理を実施する。

具体的には、まず、風速を計測する大気中のレンジを 1 つ選択し、送信光がこのレンジまで伝搬して、このレンジ中の散乱体により散乱され受信光として受信されるまでの遅延時間を τ とする。以下、その選択したレンジを計測レンジと呼ぶものとする。

復調器 24 は、符号系列発生器 42 から発生された M 系列信号を時間 τ だけ遅延させたタイミングで、デジタル信号の各サンプルに M 系列に対応して +1 と -1 を乗じる。これにより、計測レンジからのドップラー信号の位相が復調され、計測レンジにおけるドップラー周波数からなるコヒーレントな信号が得られる。

この際、大気中の他のレンジからのレンジサイドローブレベルは、復調後における計測レンジからの信号強度を 1 とし、M 系列の系列ビット数を N' とし、 $1/N'$ となる。したがって、M 系列の系列ビット数 N' を大きくとることにより、レンジサイドローブレベルを無視できる値まで低減することができる。

復調器 24 の復調信号は、コヒーレント積分器 22 に送られる。この際、サンプリング間隔は、所望の距離分解能に対応する値程度とする。

コヒーレント積分器 22 は、FFT 演算等を実施することにより、そ

の復調信号をコヒーレント積分すると同時に復調信号のスペクトルを求める。

風速検出器 23 は、コヒーレント積分器 22 により求められたスペクトルから計測レンジにおける送信方向風速を検出する。

以上で明らかのように、この実施の形態 7 によれば、Duty 100 % の変調された疑似 CW からなる送信光を送受して復調処理を行うため、短時間に所望の S/N 比を得ることが可能となり、かつ、所望の距離分解能での風速検出が可能となる効果を奏する。

この実施の形態 7 では、計測レンジを 1 つ選択して、このレンジにおける風速を検出するものについて示したが、計測レンジを複数として、計測レンジ毎に復調器 24、コヒーレント積分器 22 及び風速検出器 23 を並列に構成すれば、大気中の風速分布を知ることができる効果を奏する。

なお、上記実施の形態 1 ~ 7 では、散乱体の性状が散乱体の移動速度である場合について示したが、これに限るものではなく、例えば、散乱体の性状が、散乱体の位置や反射率である場合でも適用することができる。

例えば、散乱体が自動車などのハードターゲットである場合、復調器 24 における遅延時間 τ を変化させて、コヒーレント積分結果における積分値が最も高くなる遅延時間 τ を求め、この積分値に相当する距離により散乱体の位置を検出すればよい。また、コヒーレント積分結果における積分値の大きさから散乱体の反射率を検出すればよい。

産業上の利用可能性

以上のように、この発明に係るレーザーレーダ装置は、レーザー光を送受信して散乱体の性状を検出し、その散乱体の移動速度、位置や反射

率を特定するものに適している。

請 求 の 範 囲

1. 変調信号を発振する発振手段と、上記発振手段により発振された変調信号を用いて光信号を強度変調する変調手段と、上記変調手段により強度変調された光信号を大気中に送信する送信手段と、上記送信手段が光信号を大気中に送信すると、その大気中から光信号を受信する受信手段と、上記受信手段により受信された光信号に含まれている強度変調成分を電気信号に変換する光電変換手段と、上記発振手段により発振された変調信号を用いて上記光電変換手段から出力された電気信号の周波数をベースバンド周波数に変換する周波数変換手段と、上記周波数変換手段による周波数変換後の電気信号をコヒーレント積分し、その積分結果から大気中に存在する散乱体の性状を検出する検出手段とを備えたレーザーレーダ装置。

2. 発振手段は、連続波からなる変調信号を発振することを特徴とする請求の範囲第1項記載のレーザーレーダ装置。

3. 発振手段は、所望の距離分解能に相当する時間幅を有するパルス信号を変調信号として発振することを特徴とする請求の範囲第1項記載のレーザーレーダ装置。

4. 発振手段は、+もしくは-の符号からなる符号系列を用いて変調信号を生成することを特徴とする請求の範囲第1項記載のレーザーレーダ装置。

5. 検出手段は、周波数変換手段による周波数変換後の電気信号をアナ

ログ信号からデジタル信号に変換して、所望の速度分解能の逆数により決まる時間幅からなる時間ゲートによって当該デジタル信号を分割し、各時間ゲートにおいて当該デジタル信号をコヒーレント積分するとともに、その積分結果を各時間ゲート間に亘ってコヒーレント積分することを特徴とする請求の範囲第 1 項記載のレーザーレーダ装置。

6. 発振手段は、変調信号を発振する際、その変調信号のキャリア周波数とコヒーレント時間の乗算結果が所定値と一致するように、そのキャリア周波数を決定することを特徴とする請求の範囲第 1 項記載のレーザーレーダ装置。

7. 光電変換手段から出力された電気信号と発振手段により発振された変調信号をミキシングするミキサを用いて周波数変換手段を構成することを特徴とする請求の範囲第 1 項記載のレーザーレーダ装置。

8. 周波数変換手段は、複数の発振手段が用意されている場合、複数の発振手段により発振された変調信号をそれぞれ電気信号にミキシングすることを特徴とする請求の範囲第 7 項記載のレーザーレーダ装置。

9. 1 個の光学部材が送信手段と受信手段の機能を備えていることを特徴とする請求の範囲第 1 項記載のレーザーレーダ装置。

10. 送信手段が変調手段により強度変調された光信号を増幅してから大気中に送信する一方、受信手段が大気中から受信した光信号を増幅して、その光信号に含まれている不要周波数成分を除去することを特徴とする請求の範囲第 1 項記載のレーザーレーダ装置。

1 1 . 受信手段により受信された光信号に含まれている強度変調成分を検波するフォトディテクターを用いて光電変換手段を構成することを特徴とする請求の範囲第 1 項記載のレーザーレーダ装置。

1 2 . 変調手段と送信手段間を接続するケーブルと、受信手段と光電変換手段間を接続するケーブルとが光ファイバケーブルであることを特徴とする請求の範囲第 1 項記載のレーザーレーダ装置。

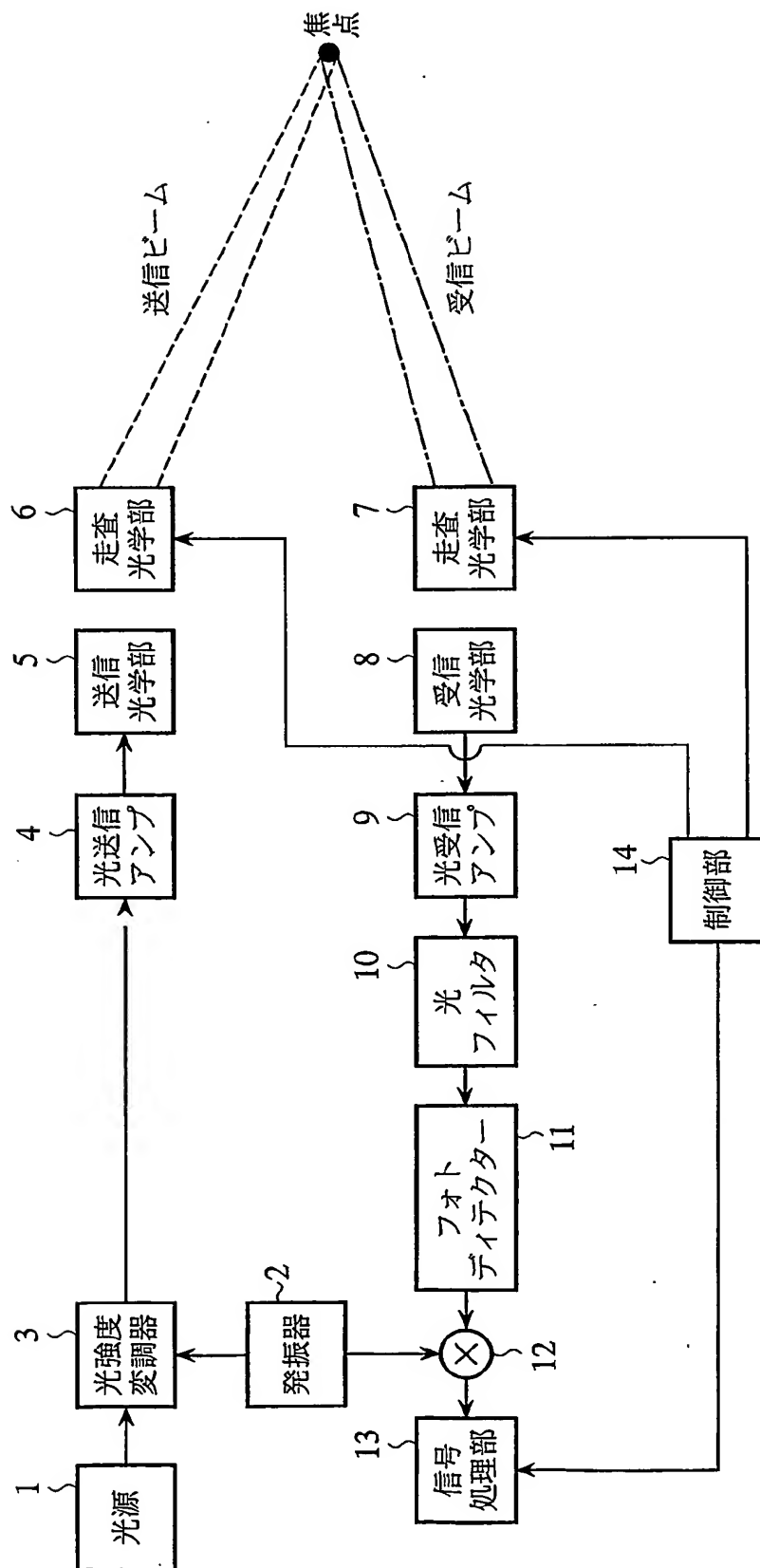
1 3 . 光ファイバケーブルの全部又は一部がマルチモードファイバであることを特徴とする請求の範囲第 1 2 項記載のレーザーレーダ装置。

1 4 . 変調手段と送信手段間を接続する光ファイバケーブルがシングルモードファイバであり、受信手段と光電変換手段間を接続する光ファイバケーブルがマルチモードファイバであることを特徴とする請求の範囲第 1 2 項記載のレーザーレーダ装置。

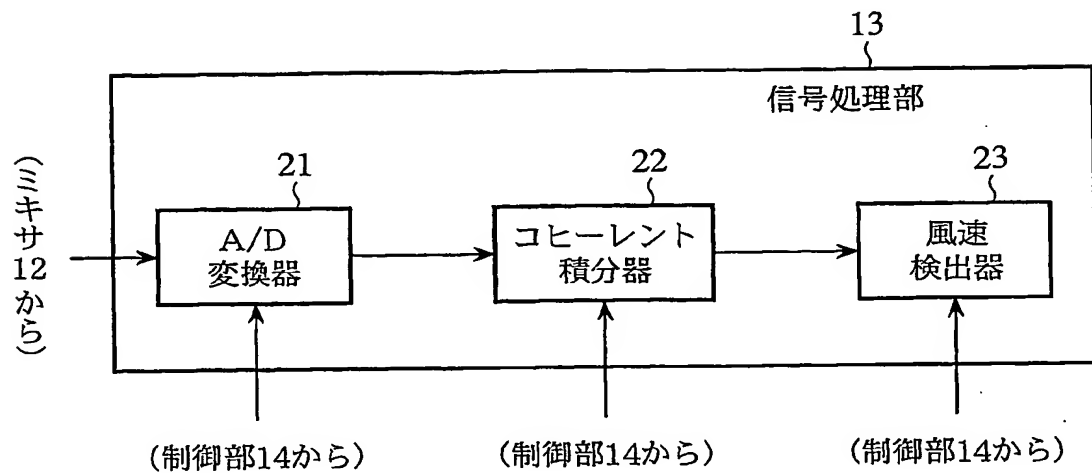
1 5 . 受信手段により受信された光信号とローカル光をヘテロダイン検波するヘテロダイン検波器と、上記ヘテロダイン検波器の検波信号の包絡線を検波する包絡線検波器とから光電変換手段を構成することを特徴とする請求の範囲第 1 項記載のレーザーレーダ装置。

1/7

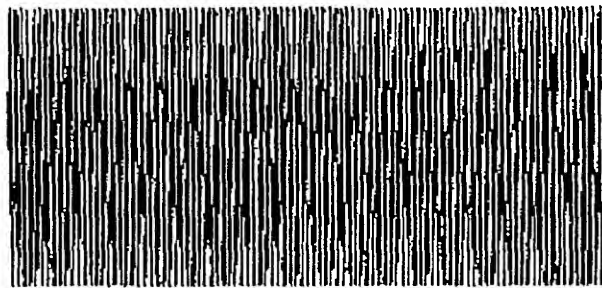
第1図



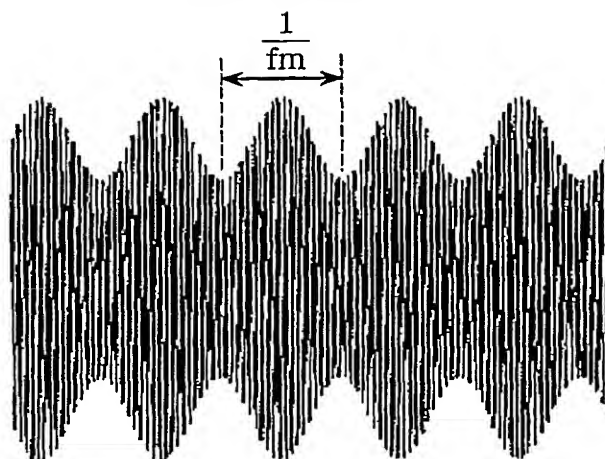
第2図

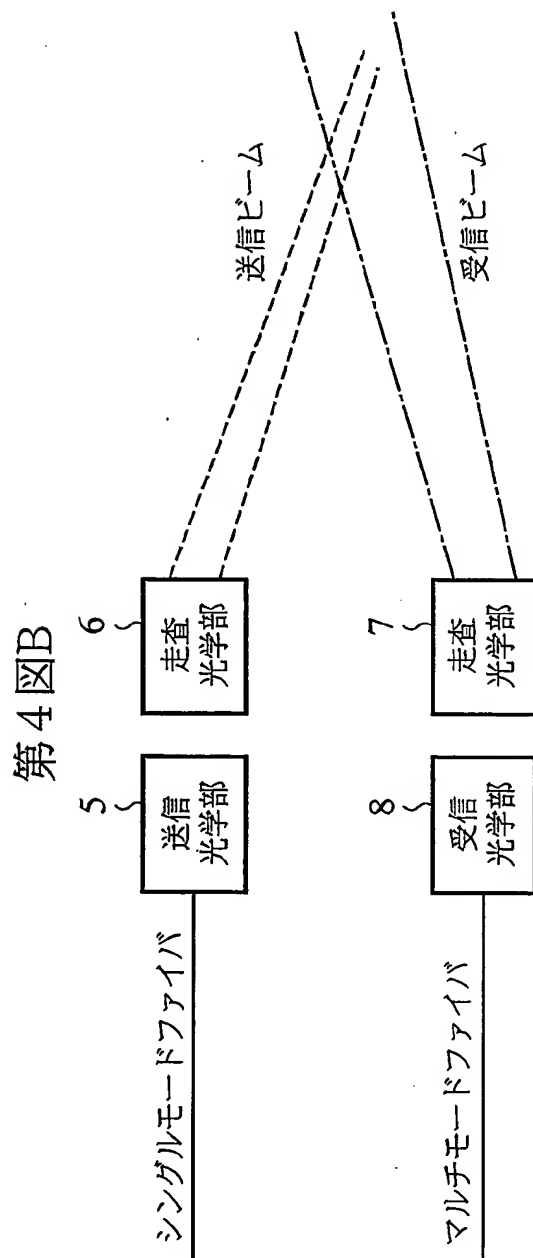
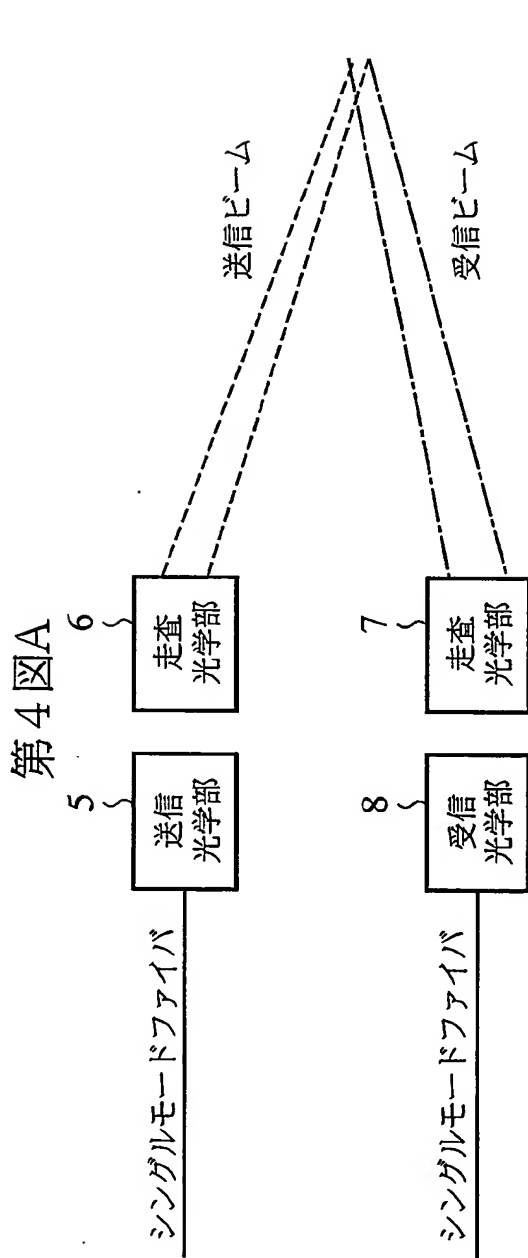


第3図A

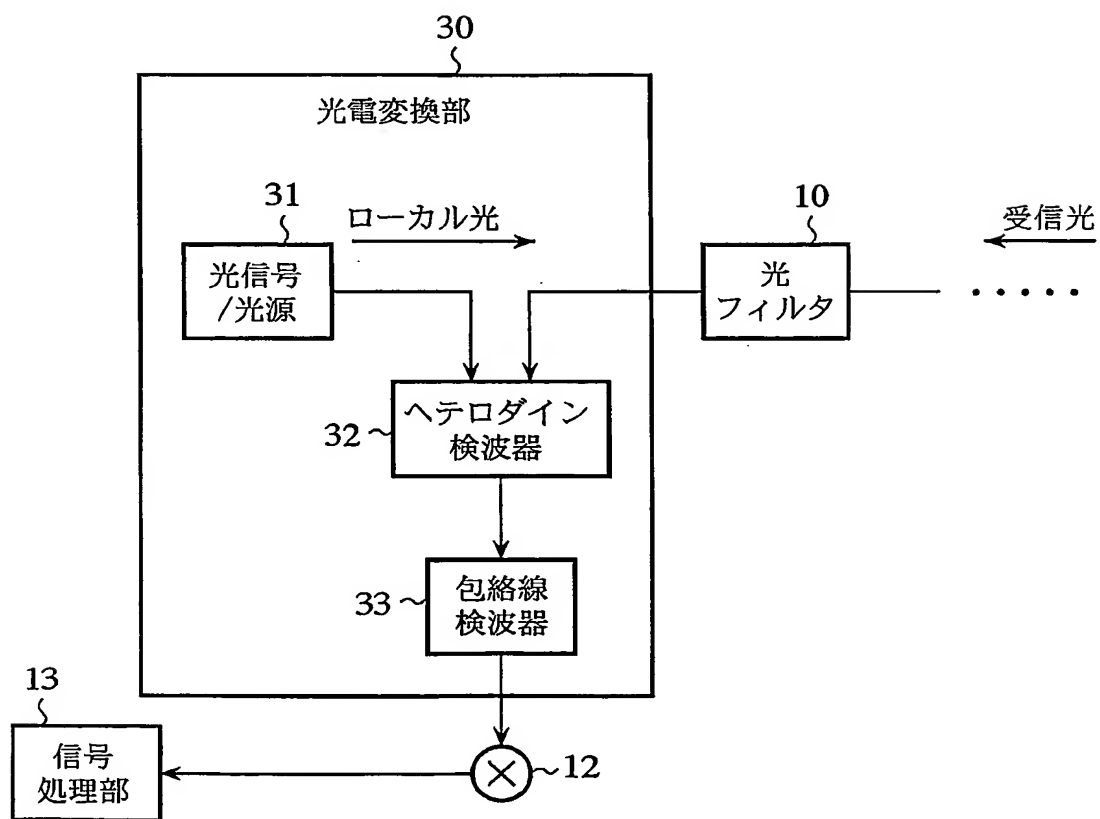


第3図B

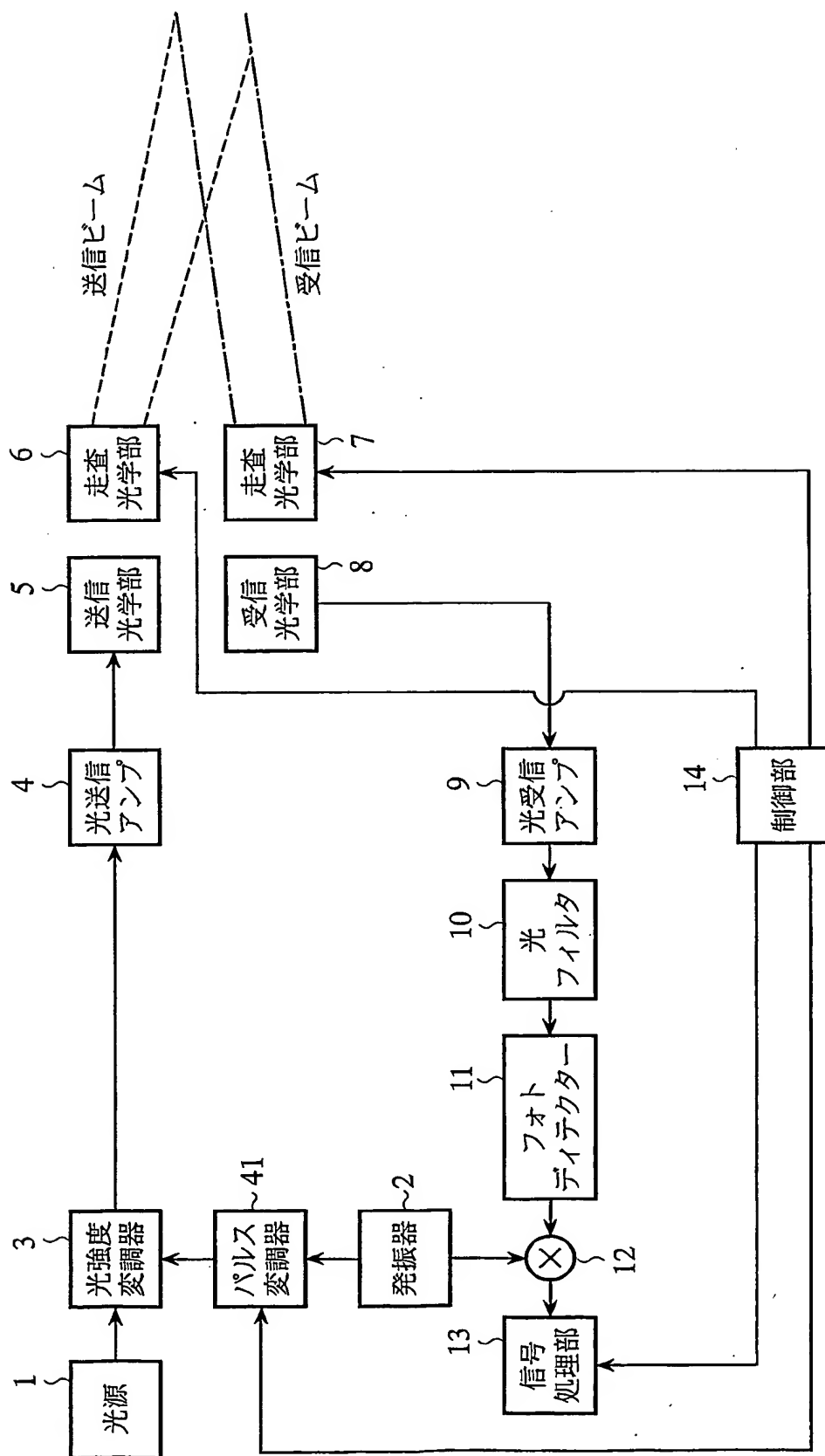




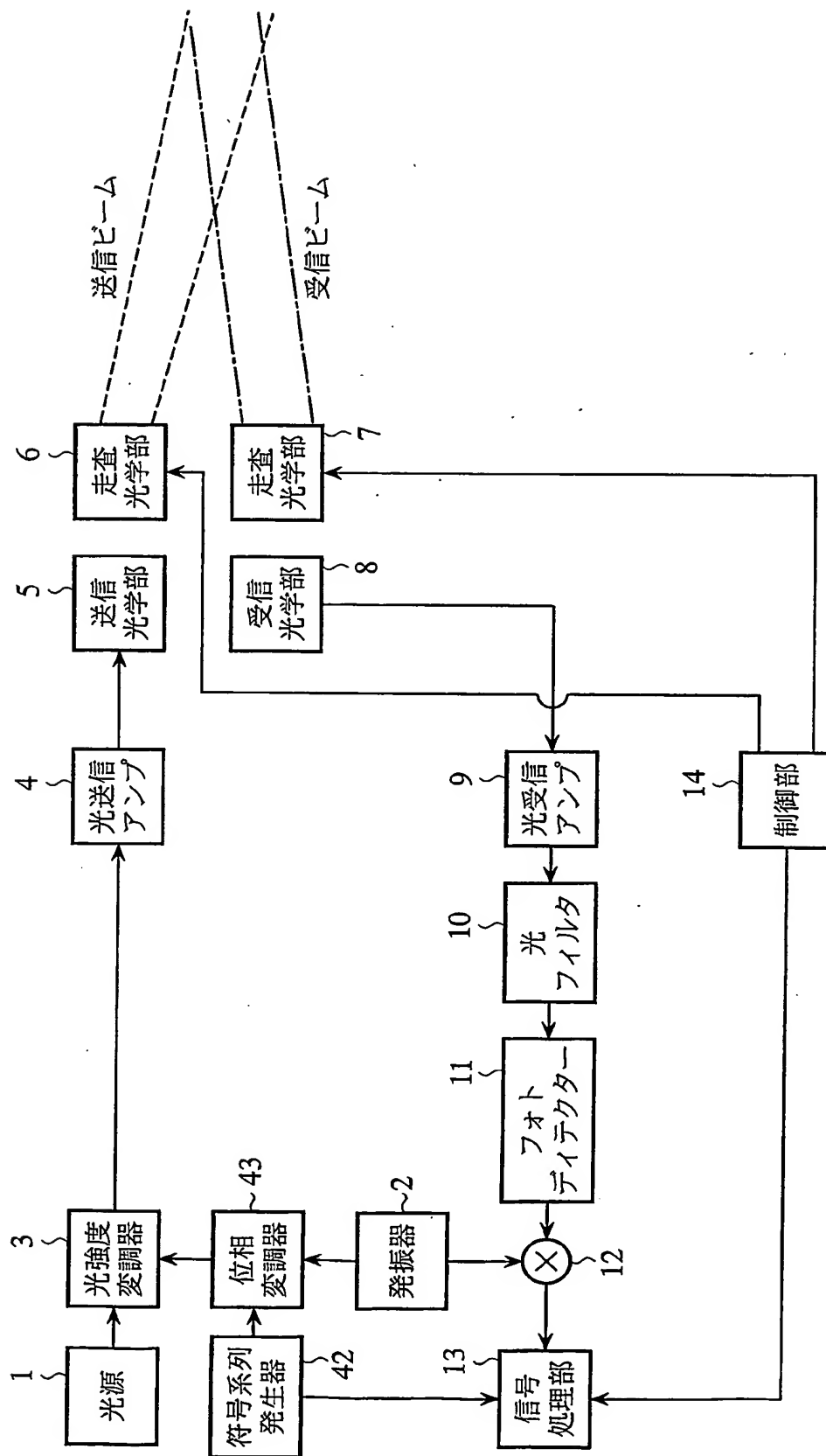
第5図



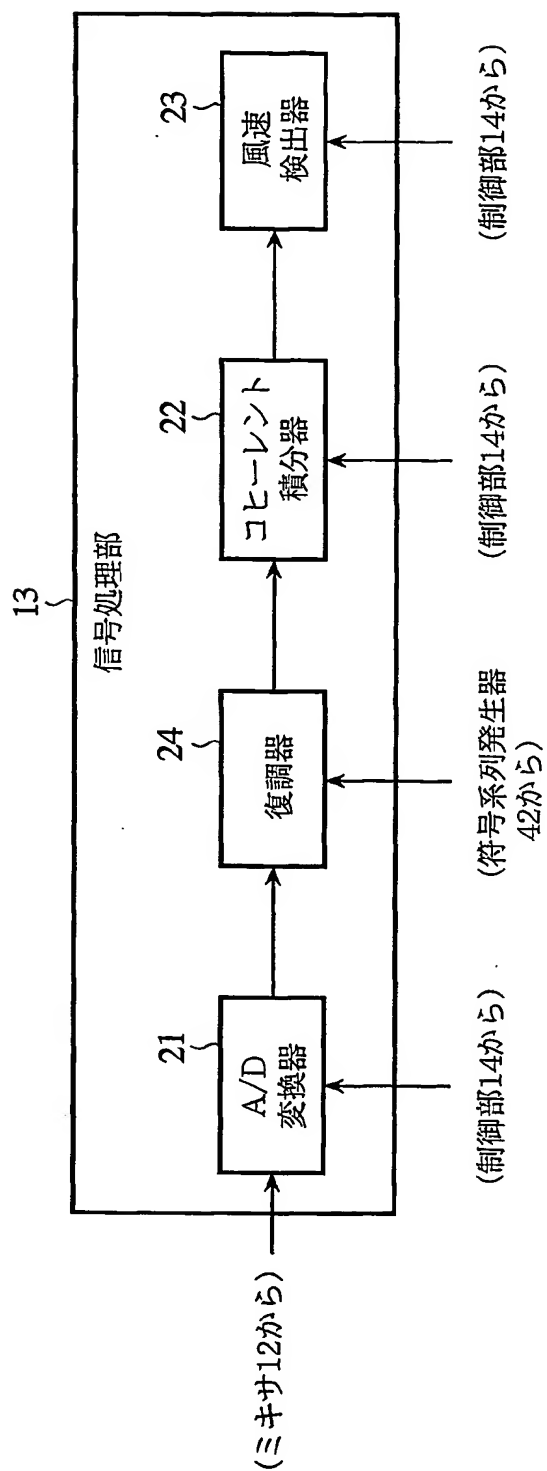
第6図



第7図



第8図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/13863

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G01S17/32, 17/58, G01P5/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G01S7/00-7/64, 13/00-17/95, G01P5/00, G01F1/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JICST FILE (JOIS), WPI (DIALOG)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2001-133544 A (Mitsubishi Electric Corp.), 18 May, 2001 (18.05.01), Full text; all drawings & EP 1098206 A2 & US 6335701 B1	1-4, 7-15 5-6
Y A	JP 9-281238 A (Toshiba Corp.), 31 October, 1997 (31.10.97), Full text; all drawings (Family: none)	1-4, 7-15 5-6
Y A	JP 2000-338244 A (Mitsubishi Electric Corp.), 08 December, 2000 (08.12.00), Full text; all drawings & EP 1055941 A2	4, 7-8 5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
03 March, 2003 (03.03.03)

Date of mailing of the international search report
18 March, 2003 (18.03.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/13863

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2001-133471 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 18 May, 2001 (18.05.01), Claim 1 (Family: none)	7-8
Y	JP 2000-266850 A (Toshiba Corp.), 29 September, 2000 (29.09.00), Full text; all drawings (Family: none)	10
Y	JP 2001-183444 A (Minolta Co., Ltd.), 06 July, 2001 (06.07.01), Par. No. [0015] (Family: none)	13-14
Y	JP 9-113217 A (Hoya Corp.), 02 May, 1997 (02.05.97), Par. No. [0013]; Fig. 1 (Family: none)	14

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. 7 G01S17/32, 17/58, G01P5/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. 7 G01S7/00-7/64, 13/00-17/95,
G01P5/00, G01F1/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JICSTファイル (JOIS)
WPI (DIALOG)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y A	JP 2001-133544 A (三菱電機株式会社) 2001.05.18 全文、全図 & EP 1098206 A2 & US 6335701 B1	1-4, 7-15 5-6
Y A	JP 9-281238 A (株式会社東芝) 1997.10.31 全文、全図 (ファミリーなし)	1-4, 7-15 5-6
Y A	JP 2000-338244 A (三菱電機株式会社) 2000.12.08 全文、全図 & EP 1055941 A2	4, 7-8 5

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

03.03.03

国際調査報告の発送日

18.03.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

神谷 健一



2S

9705

電話番号 03-3581-1101 内線 3257

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2001-133471 A (住友電気工業株式会社) 2001. 05. 18 請求項1 (ファミリーなし)	7-8
Y	JP 2000-266850 A (株式会社東芝) 2000. 0 9. 29全文、全図 (ファミリーなし)	10
Y	JP 2001-183444 A (ミノルタ株式会社) 200 1. 07. 06段落【0015】 (ファミリーなし)	13-14
Y	JP 9-113217 A (ホーヤ株式会社) 1997. 05. 02段落【0013】, 図1 (ファミリーなし)	14